

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 4 月 19 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870676

研究課題名(和文) 単板フィルタを用いた低容量なマルチスペクトル画像システムに関する研究

研究課題名(英文) A study on the low-bit-rate multispectral imaging system using filter array

## 研究代表者

篠田 一馬 (Shinoda, Kazuma)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50639200

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高精細な色情報を必要とする遠隔診断や地球観測などへの応用を目指し、多原色画像(マルチスペクトル画像)をより高速に扱えるシステムの開発を行っている。本事業では、病理診断補助への応用を想定し、撮影カメラに搭載するカラーフィルタの設計手法、撮影データの圧縮手法、および撮影データの色復元技術を新規に開発した。その結果、これまで普及している3原色画像システムと同程度のデータ量で、16原色画像を撮影・圧縮・復元し、病理診断補助に応用できる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a fast and convenient multispectral imaging system aimed for applications requiring a higher color fidelity, such as tele-medicine and remote sensing. In this period, we developed a new color filter array design, a new compression method for mosaicked image, and a new demosaicking method for recovering loss of spectrum. As a result, the total data amount of the 16-band multispectral image can be suppressed as same as 3-band image, and the recovered image has a potential to be applied to pathological diagnosis.

研究分野：画像符号化

キーワード：画像 マルチスペクトル カラーフィルタ 色補間 圧縮 センシング

## 1. 研究開始当初の背景

現行の画像データはそのほとんどが RGB の三色の混合を前提にしたデータであり、本来は無限にあるはずの色のスペクトルから RGB の三つのスペクトル情報にデータを削減している。遠隔医療などの忠実な色再現を必要とする分野では、RGB よりさらに多くの色を取り扱うマルチスペクトル画像の利用が検討されているが、マルチスペクトル画像解析の既存研究の多くは無損失、もしくは高品質な画像符号化法が適用されることが前提であり、実用に向けては効率良いデータの運用と解析誤差を減らすための検討が必要となる。従来のマルチスペクトル画像符号化の研究は光の波長間の冗長性を除去を効率的に行うことで符号量の改善が見られるものの、そのデータ量はバンド(色のコンポーネント)数に比例して増加するため、実用性に欠けている。

## 2. 研究の目的

本研究では符号化方式に加え、撮影方法と評価尺度も考慮した、マルチスペクトル画像システムの符号量の削減を検討する。特に本研究ではデジタルカメラで広く用いられているカラーフィルタアレイをマルチスペクトルに応用する。カラーフィルタアレイとは、1画素ごとに異なる色を観測するような撮影系であり、撮影後に画像処理で各画素の観測されていない色情報を復元することで RGB 画像を得る。これは RGB 以外のフィルタを用いることでマルチスペクトル画像を簡単に撮影できる。よって本研究では、マルチスペクトルフィルタ(MSFA)の設計法、MSFA で撮影された画像(モザイク画像)に適した符号化法、画像処理による復元方法(デモザイク方法)を設計することで、RGB 画像システムと同等またはそれ以下のデータ量でマルチスペクトル画像を利用できるシステムを目指す。

本研究では、顕微鏡観察による肝臓がんの診断(病理診断)を検証モデルとして想定し、マルチスペクトルフィルタアレイ(MSFA)を計算機上に実装・シミュレーションする。本研究期間内における目標は、スペクトル解析に致命的な影響を与えないことを前提とし、MSFA を病理診断に導入できる可能性と、提案システムのデータ量を RGB システムと同程度まで削減できる可能性の二つを示すことである。本研究では検討ステージを(1). MSFA 設計、(2).モザイク画像の符号化、(2).デモザイクおよび評価 の 3 パートに分け、それぞれの項目について検討を進める。

## 3. 研究の方法

### (1). MSFA の設計問題

スペクトル歪みとデータ量を共に最適化するようにフィルタの解像度・波長・配置を決定する手法を開発し、経験的配置よりも良好な歪み特性が得られることを示す。マルチス

ペクトル画像の撮影は波長サンプリング幅を狭くしフィルタ枚数を多くすることでスペクトル再現性を高められるが、病理画像や植生解析など色分布が偏っている画像においては、限られたフィルタ枚数でも十分な解析効果が得られる可能性がある。フィルタの波長の組み合わせおよび空間配置問題は NP 困難となるため、その解決法として、発見的手法(Simulated annealing 等)による最適化を行う。

### (2). モザイク画像の符号化手法の開発

MSFA の設計情報を利用した符号化を開発し、JPEG2000 より良好な歪み特性が得られることを示す。モザイク画像の画素間の相関は、設計されたフィルタに依存して画素ごとのばらつきが生じる。撮影時にはフィルタの設計情報が参照できるため、この情報を利用して事前に画素間相関を推定することにより、効果的に冗長性を削減できると考えられる。本項目は申請者の事前検証により多板システムでの JPEG2000 の性能を上回る可能性が示されているが、フィルタ配置の周期性、選択波長、色補間手法と符号化の関係性が不明確であり、これを明らかにする必要がある。

### (3). デモザイクと評価手法の開発

デモザイク法及びスペクトルの評価法を開発し、復号品質を RGB・多板マルチスペクトル・MSFA 間で比較できるようにする。MSFA によって得られる画像は1画素に1つの色成分しか含まれないため、表示や解析に利用するためには多くの場合はデモザイクを行う必要がある。既存アルゴリズムを用いて十分な精度が得られる場合は新規開発を省略する予定であるが、MSFA が既存研究のものと比較して大きく構造が異なる場合、新規手法を開発することで精度が向上する可能性もあるため、新規検討項目として含めている。評価方法は、色補間された復号画像の PSNR に加え、定量的病理診断におけるスペクトル解析誤差や目視比較を行うことで、実用化に則した評価を行う。

## 4. 研究成果

### (1). 観測波長および配置を考慮した MSFA の最適設計手法の開発

本検討では、MSFA の観測バンド数と観測波長、そしてフィルタ配置を撮影対象に応じて最適化する手法を開発した。本手法では想定する対象を全画素位置で全バンド撮影した MSI (正解画像) を利用し MSFA の設計を行う。正解画像から MSFA に応じたモザイク画像を作成し、補間処理を施すことで得た MSI と正解画像との平均二乗誤差(MSE)が小さくなる MSFA を求める。

テスト画像には肝臓の組織切片を 16 バンドで撮影した画像を使用した。この画像は Hematoxyline & Eosin で染色された肝臓組

織 (US Biomax, Hepatocellular Carcinoma Tissue Array, C054) を光学倍率 10 倍で撮影したもので、撮影にはオリンパス社製の光学顕微鏡 BX53, CRi 社製の液晶チューナブルフィルタ VariSpec VIS, Point Grey 社製のモノクロ CCD Grasshopper 3 を使用した。また、この画像は 420 ~ 690[nm] の波長範囲を 18[nm] 間隔で 16 バンド観測した MSI である。この画像を sRGB で表示したものを図 1 に示す。

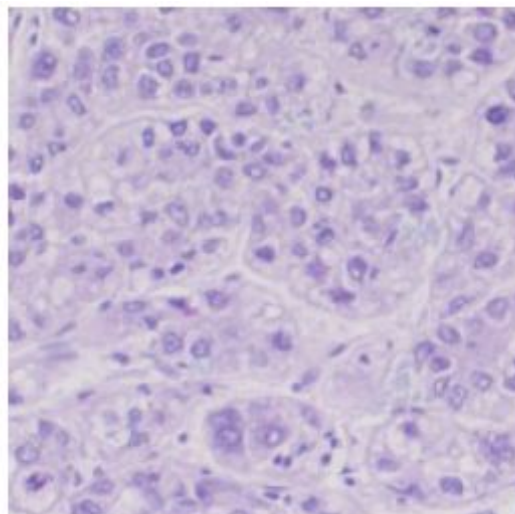


図 1 16 バンド病理画像。

提案手法により求められた MSFA を図 2 に示す。また、観測波長の分布を図 3 に示す。まず注目すべき点として、元の画像が 16 バンドであるにも関わらず、提案手法で求めた最適 MSFA が 9 バンドである点が挙げられる。16 バンドを観測する MSFA を用いた撮影では、取得したモザイク画像に対して、空間方向の補間処理のみを施すことで 16 バンド MSI を取得できるが、9 バンドを観測する MSFA を用いた場合では、取得したモザイク画像に対して空間方向の補間処理を施すことで 9 バンド MSI を作成し、その後波長方向の補間処理を施すことで 16 バンド MSI を取得する。MSFA の観測バンド数を減らすほど、波長方向の観測点が疎となるため、波長方向の補間処理精度は低下するが、1 バンドあたりの空間方向の観測点が密となるため、空間方向の補間処理精度は向上する。撮影対象によってサンプリング密度を高くすべき波長帯が異なるため、光学倍率 10 倍の病理画像では、空間方向と波長方向のサンプリング間隔のトレードオフが 9 バンド付近であると考えられる。



図 2 提案法により求めた病理画像用 MSFA (観測波長は 1: 424nm, 2: 448nm, 4: 482nm, 7: 535nm, 9: 566nm, 11: 602nm, 12: 622nm, 14: 666nm, 16: 720nm.)。

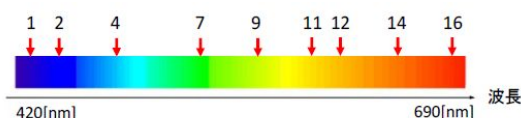


図 3 420nm ~ 690nm おける選択波長。

また、図 2 の MSFA による取得画像からデモザイクを行い復元画像の品質評価を既存研究と比較したところ、提案手法は既存研究の復元誤差を約 1/2 に抑えることができた。復号画像にも目立ったノイズが見られないため、病理診断補助への応用が期待できる結果となった。

しかし、画像のコンテンツ、分光感度、デモザイクのアルゴリズムの条件が異なると、荒いノイズが生じる問題も明らかとなった。図 4 に、最も視覚的ノイズが強い結果となった復元画像の一部を示す。本画像は図 1 とは異なる 16 バンドカメラで撮影したぬいぐるみの画像である。既存研究である篠田らの手法よりも提案手法の方が偽色を抑えることができているが、正解画像と比較すると周期的なモザイク状のノイズが目立つことがわかる。MSFA の設計とデモザイク手法を同時に最適化することでノイズが軽減されることが考えられるため、ノイズの原因の解明とその対策は今後の課題である。

本成果は、学会発表 3. に採録済みである。

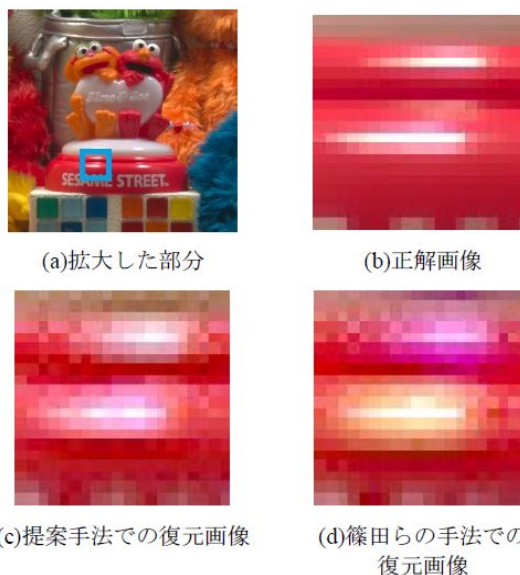


図 4 自然画像による復元画像の比較。

## (2). モザイク画像の符号化手法の開発

モザイク画像の符号化手法の開発については、2012年に発表した手法をベースとして本提案手法における符号化効率を検証したところ、MSFAの配置条件や撮影対象によらず良好な圧縮効率を実現できている。図5に16バンド自然画像のモザイク画像の圧縮効率を示すが、提案手法のEBI(KLT)は既存研究(EAI)を大きく上回っていることがわかる。よって、本成果については先行研究の技術をそのまま応用できることがわかった。また、病理画像において細胞核領域を優先的に符号化するために、複数興味領域に対する圧縮手法を開発した。それらの結果から、提案する画像システムは、RGB画像モザイク画像と同程度の符号量で運用できる可能性が示された。

本成果については、雑誌論文2.に採録済みである。

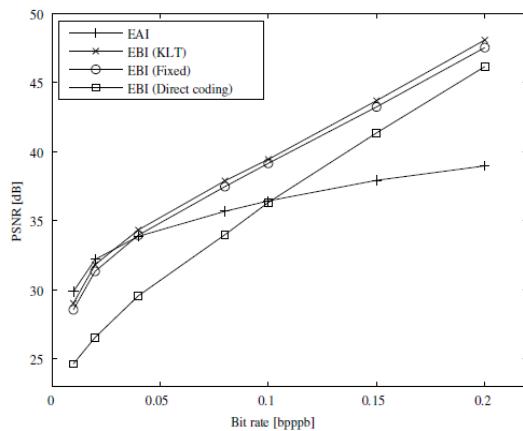


図5 モザイク画像の圧縮効率の比較。EAI: 既存研究, EBI: 提案手法の色変換行列にKLT, 固定変換(Fixed), 何も適用しない(Direct coding)場合の性能。

## (3). デモザイクと評価手法の開発

従来のデモザイク手法は、バンド間の変化量に相関があることを前提に、異なるバンドの画素値を参照して補間処理を行う。この手法では、撮影波長の間隔によって、補間画像のバンド間相関が原画像よりも弱くなる傾向がある。本検討では、既に補間されたバンドにおける画素値を、他のバンドを補間する際に利用することで、バンド間の相関を強くする補間処理を開発した。

4枚の16バンド画像(Dishes, Toys, Kettle, Scarf)を用い、バイリニア補間, Brauersらの手法, 提案手法の復元画質を比較したものを表1に示す。提案手法はいずれの画像でも既存手法より高いPSNRを示した。

また、本手法により得られるデモザイクマルチスペクトル画像を運用する際、従来のRGB画像システムとの互換性が問題となるため、RGB画像システム上でマルチス

ペクトルデータを運用するためのデータ灰ディンク手法も開発した。結果を表2に示す。Wienerは従来手法である。提案手法はマルチスペクトル画像の下位ビットプレーンにスペクトル推定誤差を埋め込むことで、RGB画像としての視覚的ノイズを大幅に抑えつつ、スペクトル復元精度を既存研究より大幅に改善することが可能となった。

本成果は、雑誌論文1.および学会発表1, 2.に採録済みである。

表1 デモザイキング性能の比較。単位: [dB]

	Dishes	Toys	Kettle	Scarf
Bilinear	29.41	27.30	26.68	28.08
Brauers	29.78	31.51	29.03	29.24
Proposed	<b>31.09</b>	<b>32.29</b>	<b>30.38</b>	<b>29.42</b>

表2 RGB画像への情報ハイディングによるRGB画像とマルチスペクトル画像(MSI)の品質(dB)。

	Dishes		Toys	
	MSI	RGB	MSI	RGB
Wiener	33.65	Inf.	27.73	Inf.
Proposed	<b>44.76</b>	51.14	<b>47.50</b>	51.14

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

1. Kazuma Shinoda, Aya Watanabe, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Multispectral Image Reconstruction from Watermarked RGB Image," *Optical Review*, 2015. DOI: 10.1007/s10043-015-0082-9 (査読有り, 採録決定)。
2. Kazuma Shinoda, Naoki Kobayashi, Ayako Katoh, Hideki Komagata, Masahiro Ishikawa, Yuri Murakami, Masahiro Yamaguchi, Tokiya Abe, Akinori Hashiguchi, and Michiie Sakamoto, "An Efficient Wavelet-Based ROI Coding for Multiple Regions," *IEICE Trans. on Fundamentals*, Vol. E98-A, No. 4, pp. 1006 - 1020, Apr. 2015. DOI: 10.1587/transfun.E98.A.1006 (査読有り, 採録決定)。

(他3件)

[学会発表](計11件)

1. Kazuma Shinoda, Aya Watanabe, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Multispectral Image Estimation from RGB Image Based on Digital Watermarking," *Association Internationale de la Couleur*, Tokyo, Japan, May 2015 (採録決定)。
2. Junya Mizutani, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Multispectral Demosaicking Algorithm Based on Inter-Channel

Correlation," *Proc. of IEEE Visual Communications and Image Processing*, Valletta, Malta, pp. 474 - 477 Nov. 2014.

3. Kazuma Shinoda, Taisuke Hamasaki, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, and Antonio Ortega, "Quality Metric for Filter Arrangement in a Multispectral Filter Array," *Proc. of Picture Coding Symposium*, pp. 149 - 152, San Jose, USA, Dec. 2013.

(他 8 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

1. [http://williams.is.utsunomiya-u.ac.jp/pukiwiki/index.php?info\\_shinoda](http://williams.is.utsunomiya-u.ac.jp/pukiwiki/index.php?info_shinoda)
2. [http://www.eng.utsunomiya-u.ac.jp/intro\\_is2/129.html](http://www.eng.utsunomiya-u.ac.jp/intro_is2/129.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

篠田 一馬 (Kazuma Shinoda)  
宇都宮大学・工学研究科・助教  
研究者番号： 50639200